

# ASPHERICAL SINGLE LENS OPTICAL SYSTEM AND OPTICAL SYSTEM EQUIPPED WITH ASPHERICAL SINGLE LENS OPTICAL SYSTEM

Patent number: JP2004272001

Publication date: 2004-09-30

Inventor: TAKAHASHI KOICHI

Applicant: OLYMPUS CORP

Classification:

- international: G02B13/00; G02B13/18; G02B27/00; G02B13/00; G02B13/18;  
G02B27/00; (IPC1-7): G02B13/00; G02B13/18; G02B27/00

- european:

Application number: JP20030063984 20030310

Priority number(s): JP20030063984 20030310

[View INPADOC patent family](#)

[Report a data error here](#)

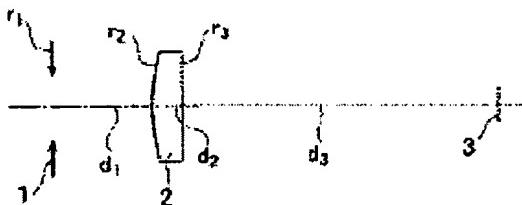
## Abstract of JP2004272001

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an aspherical single lens constituted so that waveform aberration remaining in all the incident light is small, the curvature of field is small, and loss caused in an optical system is restrained to the minimum.

**SOLUTION:** The aspherical single lens optical system is constituted of an entrance pupil forming part and the aspherical single lens whose surface on an incident side is an aspherical surface having positive power in order from the incident side, and the aspherical single lens satisfies following conditions (1) to (3). (1)  $0.05 < R_1/f < 1.0$  (2)  $0.2 < (D+SB)/f < 1.0$  and (3)  $0.01 < IH/f < 0.1$ .

Provided that  $R_1$  means the reference radius of curvature of the first surface from the incident side of the lens,  $f$  means a focal distance,  $D$  means the thickness of the center of the lens,  $SB$  means length from the position of an entrance pupil decided by the entrance pupil forming part to the first surface of the aspherical single lens and  $IH$  means the maximum image height of input light made incident on the aspherical single lens.

**COPYRIGHT:** (C)2004,JPO&NCIPI



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]

It is the aspheric surface single lens optical system which consists of the entrance pupil formation section and an aspheric surface single lens whose field by the side of incidence is the aspheric surface of forward power sequentially from an incidence side, and is characterized by said aspheric surface single lens filling (3) from the following conditions (1).

(1)  $0.05 < R_1/f < 1.0$

(2)  $0.2 < (D+SB)/f < 1.0$

(3)  $0.01 < I_H/f < 0.1$

However, the die length from the entrance pupil location where a focal distance and D are decided by thickness based on lenses, and SB is decided [  $R_1$  ] by said entrance pupil formation section by the criteria radius of curvature of the 1st page and f from the incidence side of a lens to the 1st page of an aspheric surface single lens, and  $I_H$  are the maximum image quantities of the input light which carries out incidence to an aspheric surface single lens.

[Claim 2]

Said aspheric surface single lens optical system is aspheric surface single lens optical system according to claim 1 which carries out the description of having an angular-dispersion component.

[Claim 3]

The 2nd page of said aspheric surface single lens is aspheric surface single lens optical system according to claim 1 or 2 characterized by being a flat surface.

[Claim 4]

The 2nd page of said aspheric surface single lens is aspheric surface single lens optical system according to claim 1 or 2 characterized by being a concave surface.

[Claim 5]

Aspheric surface single lens optical system according to claim 4 characterized by satisfying conditions (4).

(4)  $1 < R_2/R_1 < 10$

However,  $R_1$  and  $R_2$  are the radius of curvatures of the 1st page and the 2nd page from the plane-of-incidence side of an aspheric surface single lens.

[Claim 6]

Aspheric surface single lens optical system given in claims 1–5 characterized by for the 1st page of said aspheric surface single lens being a convex, and being the aspheric surface with which conditions (5) and (6) are filled.

(5)  $-40 < k < 15$

(6)  $1.0 \times 10^{-8} < -a < -9.0 \times 10^{-4}$

However,  $k$  is the cone constant of the formula of an aspheric surface configuration and  $a$  are the 4th aspheric surface multipliers of an aspheric surface type.

[Claim 7]

Aspheric surface single lens optical system given in claims 1–6 characterized by satisfying conditions (7).

(7)  $0.05 < NA' < 0.25$

However,  $NA'$  is the numerical aperture by the side of the image of an aspheric surface single lens.

[Claim 8]

Aspheric surface single lens optical system given in claims 1–7 characterized by satisfying conditions (8).

(8)  $20 < -nud < -95$

However,  $nud$  is the Abbe number of the \*\* material of an aspheric surface single lens.

[Claim 9]

Aspheric surface single lens optical system given in claims 1–8 characterized by satisfying conditions (9).

(9)  $10 < f < 100$

However,  $f$  is the focal distance of an aspheric surface single lens.

[Claim 10]

The optical system by which is an optical system which performs part multiplexing for the light injected from the optical fiber using said angular-dispersion component, condenser lens, and waveguide, and it is equipping [ at claims 1–9 / with the aspheric surface single lens optical system of a publication ]–condenser lens characterized.

[Claim 11]

The optical system by which is an optical system which performs distributed compensation for the light injected from the optical fiber using said angular-dispersion component, condenser lens, and reflective mirror, and it is equipping [ at claims 1–9 / with the aspheric surface single lens optical system of a publication ]–condenser lens characterized.

---

#### DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs]

This invention relates to the optical system equipped with the aspheric surface single lens optical system used for optical communication etc., and aspheric surface single lens optical system. It is related with the optical system equipped with the aspheric surface single lens optical system especially used for an optical multiplexer/demultiplexer or a distributed compensator, and its aspheric surface single lens optical system.

[0002]

[Description of the Prior Art]

In recent years, in optical communication, improvement in the speed of transmission speed and large capacity-ization by wavelength multiplexing are measured with increase of a communications traffic. It is known that the phenomenon in which a lightwave signal deteriorates will also produce the effect of environments, such as a temperature change, with improvement in the speed of transmission speed.

[0003]

It is required to compensate distribution of an optical fiber, a distributed slope, polarization distribution, etc. with adjustable, in order to compensate degradation of the lightwave signal. Using an angular-dispersion component, an optical path is changed to the distributed compensator proposed until now with wavelength, and there is equipment with which it compensates by producing the optical-path-length difference by each wavelength in it. (For example, patent reference 1 reference)

[0004]

Moreover, in using the wavelength of \*\*\* – number 100 wave for an optical fiber and transmitting a lightwave signal by wavelength multiplexing, there are some which perform spectral separation for branching, ADD/DROP, and each compensation and multiplexing as actuation under transmission. (For example, bibliography 2 reference)

[0005]

To set to such actuation of a lightwave signal and collimate or combine input light, it is necessary to condense input light other than the axial Uemitsu line from which the angle of emergence differs with wavelength in desired image quantity, respectively. However, in the conventional collimate lens for optical fibers, since the aberration of only the axial Uemitsu line is amended, a gap of a focal location occurs by the incidence of an axial outdoor daylight line. Moreover, since change of an angle of

incidence is not supported enough, if an angle of incidence changes, decline in joint effectiveness with an optical fiber will occur, and there is a problem that a quantity of light loss becomes large. Therefore, the collimate lens only with the sufficient shaft top engine performance does not fit optical system including such an axial outdoor daylight bundle.

[0006]

Moreover, for optical communication and an optical recording application, the lens whose wave aberration is below  $0.1\lambda$  or below  $0.07\lambda$ , and the so-called aplanatic lens are desirable. Then, as optical system which condenses input light, applying two or more combination lenses, gradient index lenses, etc. is also considered. However, with two or more combination lenses, there is a problem that the quantity of light loss and equipment in a plane of composition are enlarged. Moreover, in a gradient index lens, there is a problem of the rise of the cost by complication of a production process. Therefore, as optical system which condenses the input light for actuation of the above-mentioned lightwave signal, optical system using the single lens of homogeneous glass is desired.

[0007]

There is the following in the optical system using a single lens.

\*\*1 What consisted of forward meniscus lenses which turned the concave surface to a diaphragm and this drawing (patent reference 3 reference),

\*\*2 What constituted the 1st page from the aspheric surface and constituted the 2nd page from the spherical surface for cost reduction (patent reference 4 reference),

\*\*3 What formed in the aspheric surface where the 1st page does not use a convex by the meniscus lens of concave, and the 2nd page does not use the 1st page and the 2nd page of an aspheric surface multiplier, reduced the manufacture error, and planned cost reduction (patent reference 5 reference),

\*\*4 It consisted of the 1st page which a single lens becomes from the aspheric surface from a body side at the forward single lens of an introduction diaphragm and a meniscus configuration, and the 2nd page which consists of the aspheric surface which turned the convex to the image side from the body side at order (patent reference 6 reference).

[0008]

[Patent reference 1]

\*\* table No. 511655 [ 2000 to ] official report

[Patent reference 2]

JP,9-430579,A

[Patent reference 3]

JP,7-5358,A (the 5th page, drawing 8 , drawing 11 , drawing 17)

[Patent reference 4]

JP,7-261074,A (the 5th page, drawing 1 )

[Patent reference 5]

JP,8-313806,A (the 4th page, drawing 1 )

[Patent reference 6]

JP,2002-98885,A (the 8th page, drawing 1 , drawing 3 , drawing 5 , drawing 7 )

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

However, aforementioned \*\*1 In \*\*\*\*\*\*, if the marginal ray which has a field angle carries out incidence to the 1st page from a diaphragm, the beam-of-light quantity in a lens will become high. It becomes insufficient amending the aberration outside a shaft by this, and there is a problem that the wave aberration besides a shaft will remain.

[0010]

Moreover, aforementioned \*\*2 In \*\*\*\*\*\*, since it is a biconvex lens in a collimate lens, the PETTSU bar sum is large, and when a field angle is large, curvature-of-field amendment becomes difficult. Therefore, there is a problem that the loss of breadth and the quantity of light occurs [ the flux of light at the time of association of a lightwave signal ] by the curvature of field.

[0011]

Similarly Aforementioned \*\*3 In \*\*\*\*\*\*, since the aspheric surface configuration is made only into the cone constant, there is a problem that aberration amendment of a marginal ray, especially amendment of comatic aberration, astigmatism, etc. become difficult.

[0012]

Moreover, aforementioned \*\*4 In \*\*\*\*\*\*, there is a problem that it is difficult to separate spectrally the injection light from an angular-dispersion component with a small field angle, for a configuration with the front-end diaphragm near optical system.

[0013]

It aims at offering the aspheric surface single lens optical system to which a curvature of field can suppress to the minimum the quantity of light loss small generated in optical system small [ the wave aberration which remains in view of the above-mentioned problem in all the light that carried out incidence ] as for this invention. Moreover, it aims at offering the optical system using the aspheric surface

single lens optical system.

[0014]

[Means for Solving the Problem]

In order to attain the above-mentioned purpose, aspheric surface single lens optical system by invention of \*\*\*\* 1 is characterized by for the entrance pupil formation section and the field by the side of incidence consisting of aspheric surface single lenses which are the aspheric surface of forward power, and filling (3) from the conditions (1) of the following [ single lens / said / aspheric surface ] sequentially from the incidence side.

- (1)  $0.05 < R_1/f < 1.0$
- (2)  $0.2 < (D+SB)/f < 1.0$
- (3)  $0.01 < I_H/f < 0.1$

However, the die length from the entrance pupil location where a focal distance and D are decided by thickness based on lenses, and SB is decided [  $R_1$  ] by the entrance pupil formation section by the criteria radius of curvature of the 1st page and f from the incidence side of a lens to the 1st page of an aspheric surface single lens, and  $I_H$  are the maximum image quantities of the input light which carries out incidence to an aspheric surface single lens.

[0015]

Moreover, the optical system using the aspheric surface single lens optical system by this invention is an optical system which performs part multiplexing for the light injected from the optical fiber using an angular-dispersion component, a condenser lens, and waveguide, and it is equipping [ with the above-mentioned aspheric surface single lens optical system ]-condenser lens characterized by it.

[0016]

Moreover, the optical system using the aspheric surface single lens optical system by this invention is an optical system which performs distributed compensation for the light injected from the optical fiber using an angular-dispersion component, a condenser lens, and a reflective mirror, and it is equipping [ with the above-mentioned aspheric surface single lens optical system ]-condenser lens characterized by it.

[0017]

[Embodiment of the Invention]

An operation of this invention is explained in advance of explanation of an example. The aspheric surface single lens optical system of this invention consists of the entrance pupil formation section and an aspheric surface single lens whose field by the side of incidence is the aspheric surface of forward power sequentially from an

incidence side, and said aspheric surface single lens fills the below-mentioned conditional expression. Small [ the wave aberration which remains in all the light that carried out incidence by this ], since the curvature of field is small, the quantity of light loss generated in optical system can be suppressed to the minimum.

In addition, when the angular-dispersion component has been arranged in an optical path, it branches to the flux of light with whenever [ angle-of-emergence / which changes with wavelength with an angular-dispersion component ]. Then, even if it is such a configuration, a focal plane can be made to condense the flux of light with an include angle which is different for every wavelength, respectively good by using the aspheric surface single lens optical system of this invention.

#### [0018]

Next, conditional expression is explained. Conditions (1) have specified the range of the proper power of the 1st page which is the field which has the forward power with a main lens.

$$(1) 0.05 < R1/f < 1.0$$

However, the criteria radius of curvature excluding [ R1 ] the incidence side of lens to page [ 1st ] aspheric surface component and f are the focal distances of a single lens.

#### [0019]

If 1.0 of an upper limit is exceeded here, the power of the 1st page will become small and the meridional image surface will fall on an image side. Therefore, the astigmatic difference besides a shaft becomes large and the image formation engine performance is worsened. On the other hand, if it becomes small exceeding 0.05 of a minimum, the power of the 1st page will become large and spherical aberration and comatic aberration will become large at minus. If a lower limit is 0.1 or 0.15, it is more desirable, and if a upper limit is 0.8 or 0.78, it is more desirable. For example, it is more desirable following to be the conditional expression (1-1) or (1-2) that it is satisfied.

$$(1-1) 0.1 < R1/f < 0.8$$

Moreover, if a upper limit is 0.4, it is more desirable, for example, it is more desirable to satisfy the following conditional expression (1-2).

$$(1-2) 0.4 < R1/f < 0.8$$

#### [0020]

Conditions (2) are conditions which secure the image quantity in an image formation side, and make the range of a curvature of field proper.

$$(2) 0.2 < (D+SB)/f < 1.0$$

However, D is the thickness based on lenses and SB is the die length from an entrance pupil location to the 1st page of an aspheric surface single lens. When the

entrance pupil is carrying out eccentricity especially of SB, it is taken as the die length on the optical axis of an aspheric surface single lens.

[0021]

When exceeding an upper limit 1.0 here, the distance from a pupil to a lens becomes large, and the image surface inclines to an image side greatly. Moreover, enlargement of equipment is caused. If it becomes small exceeding a minimum 0.2, the meridional image surface will incline to a body side greatly. Moreover, the inclination of the chief ray which carries out incidence to a focal plane becomes large. Therefore, if tele cent rucksack nature is not satisfied with important optical system of the above-mentioned conditional expression (2), the loss of the quantity of light will occur and it will become inconvenient.

[0022]

If a lower limit is 0.3, it is more desirable, and if a upper limit is 0.9, it is more desirable. For example, it is more desirable to satisfy the following conditional expression (2-1).  
(2-1)  $0.3 < (D+SB)/f < 0.9$

Moreover, if a upper limit is 0.45, it is further more desirable, for example, it is more desirable to satisfy the following conditional expression (2-2).

(2-2)  $0.3 < (D+SB)/f < 0.45$

[0023]

Conditions (3) specify the range where the height which the light which carried out incidence to the lens condenses to a focal plane is proper.

(3)  $0.01 < IH/f < 0.1$

However, IH is the maximum image quantity of the input light which carries out incidence to an aspheric surface single lens.

[0024]

If 0.1 of an upper limit is exceeded here, the angle of incidence which carries out incidence to a lens will become large too much, and will be set to the level which cannot finish carrying out aberration amendment with a single lens. If it becomes small exceeding 0.01 of a minimum, since a field angle will become small too much, in order to perform sufficient wavelength branching, it will be necessary to lengthen the optical path length, and enlargement of equipment will be caused.

[0025]

If a lower limit is 0.03 or 0.04, it is more desirable, and if a upper limit is 0.08 or 0.079, it is more desirable. For example, it is more desirable to satisfy the following conditional expression (3-1).

(3-1)  $0.03 < IH/f < 0.08$

Moreover, if a upper limit is 0.06, it is more desirable, for example, it is more desirable to satisfy the following conditional expression (3-2).

(3-2)  $0.03 < 1H/f < 0.06$

[0026]

As for the aspheric surface single lens optical system of this invention, it is desirable to have an angular-dispersion component. By this angular-dispersion component, whenever [ that angle-of-emergence ] is changed for every wavelength of incident light, and branching for every wavelength can be performed.

[0027]

As for the aspheric surface single lens optical system of this invention, it is desirable that it is the forward convex-plano lens whose 2nd page is a flat surface. The constraint on processing of the 1st page is eased by making the 2nd page into a flat surface, and low cost-ization can plan. Moreover, the same effectiveness can be acquired also by enlarging the radius of curvature of the 2nd page and considering as the configuration near a convex-plano lens.

[0028]

Moreover, the aspheric surface single lens optical system of this invention may be a forward meniscus lens whose 2nd page of an aspheric surface single lens is a concave surface. By making the 2nd page into a concave surface to an image surface side, since aberration amendment can be performed in respect of two, the 1st page and the 2nd page, in the aberration amendment outside a shaft, it becomes advantageous especially. For example, there is the PETTSU bar sum to show the aberration outside a shaft. The PETTSU bar sum is called for in the addition of a value which broke the power of each optical surface by the refractive index. Therefore, by making the 2nd page into a concave surface, it becomes possible to make the PETTSU bar sum small, and a curvature of field is reduced.

[0029]

The following conditions (4) specify the proper range for power allocation of each side of a meniscus lens. It becomes the conditions for amending spherical aberration, comatic aberration, and the condition of a curvature of field with sufficient balance especially.

(4)  $1 < R2/R1 < 10$

However, R1 and R2 are the radius of curvatures of the 1st page and the 2nd page from the plane-of-incidence side of an aspheric surface single lens.

[0030]

If it becomes large here exceeding 10 of an upper limit, the forward power of the 1st

page to the 2nd page will become large, and amendment of spherical aberration and comatic aberration will become difficult. If it becomes small exceeding 1 of a minimum, the effectiveness of a meniscus convex lens will not be acquired but amendment of a curvature of field will become difficult.

[0031]

If a upper limit is 9, it is more desirable. For example, it is more desirable to satisfy the following conditional expression (4-1).

$$(4-1) 1 < R_2/R_1 < 9$$

Moreover, if a lower limit is 7, it is more desirable, for example, it is more desirable to satisfy the following conditional expression (4-2).

$$(4-2) 7 < R_2/R_1 < 10$$

Moreover, when it considers as a meniscus configuration, if a upper limit is 2.5, it is more desirable, for example, it is more desirable to satisfy the following conditional expression (4-3).

$$(4-3) 1 < R_2/R_1 < 2.5$$

[0032]

The 1st page of the aspheric surface single lens of this invention is the convex aspheric surface, and a configuration is expressed with the formula of the following aspheric surface configuration.

$$Z = (y^2 / R) / [1 + \{1 - (1+k) y^2 / R^2\}^{1/2}] \\ + a y^4 + b y^6 + c y^8 + d y^{10} + \dots$$

However, Z is used as the optical axis (shaft top chief ray) which made the travelling direction of light forward, and R is paraxial radius of curvature and k for a direction perpendicular to an optical axis about y. A cone constant, a, b, c and d, and -- are the 4th aspheric surface multipliers [ 6th / 8th / 10th ], respectively.

[0033]

Conditional expression (5) specifies the range where the value of the cone constant k of the formula showing the configuration of the above-mentioned aspheric surface is proper, and has determined the configuration used as the base of the 1st page.

$$(5) -40 < k < 15$$

[0034]

here -- 15 of an upper limit -- \*\* to exceed -- if it becomes large, inclination to a surrounding field may become steep and processing may become difficult Moreover, if

it becomes small exceeding -40 of a minimum, in the 1st page which has the main forward power, sufficient power of the optical-axis circumference will no longer be obtained.

[0035]

If a lower limit is -30 or -20, it is more desirable, and if a upper limit is 10 or 1, it is more desirable. For example, it is more desirable following to be the conditional expression (5-1) or (5-2) that it is satisfied.

$$(5-1) -30 < k < 10$$

$$(5-2) -20 < k < 1$$

Moreover, if a upper limit is -0.7, it is more desirable, for example, it is more desirable to satisfy the following conditional expression (5-3).

$$(5-3) -20 < k < -0.7$$

Moreover, if a lower limit is -0.1 when it considers as a meniscus configuration, it is more desirable, for example, it is more desirable to satisfy the following conditional expression (5-4).

$$(5-4) -0.1 < k < 1$$

[0036]

Moreover, conditions (6) have specified the range where the 4th aspheric surface multiplier a is proper.

$$(6) 1.0 \times 10^{-8} < -- a < -- 9.0 \times 10^{-4}$$

[0037]

\*\* exceeding  $9.0 \times 10^{-4}$  of an upper limit -- if it becomes large, the surrounding amount of sags may increase and processing may become difficult  $1.0 \times 10^{-8}$  of a minimum If it exceeds and becomes small, the aspheric surface size effect in a field configuration will become slight, and sufficient aspheric surface effectiveness will not be acquired.

[0038]

a lower limit --  $1.0 \times 10^{-7}$  or  $3.0 \times 10^{-6}$  it is -- if -- it is more desirable, and if a upper limit is  $5.0 \times 10^{-4}$  or  $6.0 \times 10^{-5}$ , it is more desirable. For example, it is more desirable following to be the conditional expression (6-1) or (6-2) that it is satisfied.

$$(6-1) 1.0 \times 10^{-7} < -- a < -- 5.0 \times 10^{-4}$$

$$(6-2) 3.0 \times 10^{-6} < -- a < -- 6.0 \times 10^{-5}$$

[0039]

The following conditional expression (7) is conditional expression which specifies the range where the numerical aperture of a lens is proper.

$$(7) 0.05 < NA' < 0.25$$

However, NA is the numerical aperture by the side of the image of an aspheric surface

single lens.

[0040]

When using angular-dispersion components, such as a diffraction grating, a Fabry-Perot interferometer, and a VIPA plate, the injection flux of light from an angular-dispersion component is generated by the multiplex interference by the component. If the die length of the component of the direction which carries out multiplex interference, i.e., the direction which carries out angular dispersion, is insufficient at this time, the quantity of light of sufficient injection light cannot be obtained. The larger one of the magnitude of the input flux of light led to an aspheric surface single lens is desirable. Therefore, numerical-aperture NA' by the side of the image of a lens needed to have a certain value, and has specified the optimal range.

[0041]

If it becomes large exceeding 0.25 of an upper limit, high order comatic aberration will occur and the image formation engine performance of a marginal ray will be worsened. If it becomes small exceeding 0.05 of a minimum, a back focus will become long too much and the whole equipment will be enlarged.

[0042]

If a lower limit is 0.08, it is more desirable, and if a upper limit is 0.2, it is more desirable. For example, it is more desirable to satisfy the following conditional expression (7-1).  
(7-1)  $0.08 < \text{NA}' < 0.2$

[0043]

The following conditional expression (8) has specified the range where the Abbe number of the \*\* material of an aspheric surface single lens is the optimal.

(8)  $20 < \text{nud} < 95$

However, nud is the Abbe number of the \*\* material of an aspheric surface single lens.

[0044]

In order to transmit mass data, multiplexing is performed in the channel through the light of wavelength which is different in one optical fiber. Since so many numbers of wavelength will be obtained if the wavelength band to be used is extended, it is advantageous. It is possible to use the light of the band of the wavelength from about 1200nm to about 1700nm for a communication link there. In that case, the lower one of the distribution which the \*\* material used for the aspheric surface single lens of this invention has is desirable. Although the variance of the \*\* material used for an optical element is usually expressed by Abbe number nud and nue here and the distribution in the wavelength of a visible region is expressed, the usual optical material also specifies the distributed property of the \*\* material in this invention by

nud in order to express distribution by these.

[0045]

\*\* exceeding 95 of an upper limit -- if it becomes large, the element to contain becomes a special configuration and the stable quality cannot be secured. If it becomes small exceeding 20 of a minimum, distribution will become large and the good image formation engine performance in a large wavelength band will not be obtained.

[0046]

If a lower limit is 30 or 40, it is more desirable, and if a upper limit is 90 or 85, it is more desirable. For example, it is desirable if it seems to be a degree type.

(8-1)  $30 < \text{--- nud} < \text{--- 90}$

(8-2)  $40 < \text{--- nud} < \text{--- 85}$

[0047]

The following conditional expression (9) is conditional expression which specifies the range where the focal distance of the optical system of this invention is proper.

(9)  $10(\text{mm}) < f < 100(\text{mm})$

However, f is the focal distance of an aspheric surface single lens.

[0048]

As for the light which carried out incidence to the angular-dispersion component, the angle of emergence changes with wavelength of incident light. Since the angle of emergence is very small, the light of the comrades of \*\*\*\*\* wavelength does not lap with a focus, but it is necessary to secure spacing which fully branches in a part multiplexing machine or a distributed compensator. Therefore, a certain amount of die length is required for the distance to the location to which the focus of a condenser lens is connected from an angular-dispersion component.

For example, the angle of diffractions at the time of carrying out incidence of wavelength (1.51 micrometers and 1.6 micrometers) of the light to the diffraction grating of a lattice constant 33 are  $2.579\text{deg(s)}$  and  $2.751\text{deg(s)}$ , respectively, and the difference is  $0.172\text{deg(s)}$ . When a lens with a focal distance of  $f = 50\text{mm}$  is used, the difference of the location (image quantity) by the wavelength in a focal location is  $0.15\text{mm}$ . Therefore, even if it uses a single mode fiber train (array) as a waveguide train,  $0.15\text{mm}$ , it is larger discrete quantity than the appearance of a fiber, and it becomes possible to branch input light.

[0049]

\*\* exceeding 100 of an upper limit -- the whole equipment will be enlarged if it becomes large. If it becomes small exceeding 10 of a minimum, especially when using what has the small angular-dispersion effectiveness, change of the angle of

emergence by the difference of wavelength becomes small, and wavelength branching cannot fully be performed.

[0050]

[Example]

Hereafter, it explains using the drawing of the example of this invention.

Drawing 1 to drawing 6 is drawing showing one gestalt of this invention aspheric surface single lens optical system.

[0051]

The 1st example

Drawing 1 is the sectional view of the 1st example of this invention aspheric surface single lens optical system, and drawing 7 is drawing showing the spherical aberration in the 1st example, astigmatism, and distortion aberration. The aspheric surface where, as for the aspheric surface single lens 2, the 1st page by the side of incidence turned the convex to the incidence side, and the 2nd page by the side of injection consist of flat surfaces.

The abbreviation parallel flux of light which had an include-angle component for every wavelength in the entrance pupil location 1 carries out incidence to the aspheric surface single lens 2, and a focus is connected to a focal plane 3.

Since it acts similarly in the following single lens optical system, it omits. Moreover, a sign decides to attach the same number below about the configuration which has the same function.

Next, the numeric data of the optical system which constitutes the aspheric surface single lens concerning the 1st example is shown.

[0052]

[0053]

The 2nd example

Drawing 2 is the sectional view of the 2nd example of this invention aspheric surface single lens optical system, and drawing 8 is drawing showing the spherical aberration in the 1st example, astigmatism, and distortion aberration. The aspheric surface where the 1st page by the side of incidence turned the convex to the incidence side like the example 1 as for the aspheric surface single lens 2, and the 2nd page by the side of injection consist of flat surfaces.

Next, the numeric data of the optical system which constitutes the aspheric surface single lens concerning the 2nd example is shown.

[0054]

[0055]

### The 3rd example

Drawing 3 is the sectional view of the 3rd example of this invention aspheric surface single lens optical system, and drawing 9 is drawing showing the spherical aberration in the 1st example, astigmatism, and distortion aberration. The aspheric surface single lens 2 consists of the aspheric surface where the 1st page by the side of incidence turned the convex to the incidence side, and a meniscus configuration in which the 2nd page has radius of curvature with a loose injection side.

Next, the numeric data of the optical system which constitutes the aspheric surface single lens concerning the 3rd example is shown.

[0056]

[0057]

### The 4th example

Drawing 4 is the sectional view of the 4th example of this invention aspheric surface single lens optical system, and drawing 10 is drawing showing the spherical aberration in the 1st example, astigmatism, and distortion aberration. The aspheric surface single lens 2 consists of the aspheric surface where the 1st page by the side of incidence turned the convex to the incidence side, and a meniscus configuration in which the 2nd page has radius of curvature with a loose injection side like the example 3.

Next, the numeric data of the optical system which constitutes the aspheric surface single lens concerning the 4th example is shown.

[0058]

[0059]

### The 5th example

Drawing 5 is the sectional view of the 5th example of this invention aspheric surface single lens optical system, and drawing 11 is drawing showing the spherical aberration in the 1st example, astigmatism, and distortion aberration. The aspheric surface single lens 2 consists of the aspheric surface where the 1st page by the side of incidence turned the convex to the incidence side, and a meniscus configuration to which the 2nd page by the side of injection has a concave surface in an image side.

Next, the numeric data of the optical system which constitutes the aspheric surface single lens concerning the 5th example is shown.

[0060]

[0061]

### The 6th example

Drawing 6 is the sectional view of the 6th example of this invention aspheric surface single lens optical system, and drawing 12 is drawing showing the spherical aberration

in the 1st example, astigmatism, and distortion aberration. The aspheric surface single lens 2 consists of the aspheric surface where the 1st page by the side of incidence turned the convex to the incidence side like the example 3, and a meniscus configuration to which the 2nd page by the side of injection has a concave surface in an image side.

Next, the numeric data of the optical system which constitutes the aspheric surface single lens concerning the 6th example is shown.

[0062]

[0063]

The value of (9) and the value of wave aberration are shown in Table 1 from the conditional expression (1) of this invention.

[Table 1]

[0064]

Drawing 13 and drawing 14 are the outline block diagrams showing 1 operation gestalt of the optical system equipped with the aspheric surface single lens of this invention. This outline block diagram is common to each example.

[0065]

Drawing 13 is the outline block diagram of the optical part multiplexing machine which is the optical system of this invention. Drawing 13 shows the situation of the cross section within a field including the distributed direction of an angular-dispersion component. 5 is an input optical fiber which leads input light to an optical part multiplexing machine. 6 is a collimator lens and makes emission light from the input optical fiber 5 abbreviation parallel light. 7 is the diffraction grating used as an angular-dispersion component, and has the operation which changes whenever [ angle-of-emergence ] with the wavelength of the inputted light. 8 and 9 are the plane of incidence of a diffraction grating, and a injection side, respectively, and this injection side 9 is divided into the field where the diffraction grating was processed, and the field which is not processed. The inside of the processed field serves as an entrance pupil of the aspheric surface single lens optical system of this invention as the entrance pupil formation section as it is. 10 is a condenser lens which is the aspheric surface single lens 2 of this invention. here -- an incidence side -- 11 has turned the 1st page of a convex to the incidence side in the aspheric surface. moreover, it is a injection side -- 12 [ page / 2nd ] consists of a flat surface or a concave surface. 13 is an output optical fiber which receives the lightwave signal corresponding to wavelength, respectively. Thus, the optical part multiplexing machine 4 is constituted from the input optical fiber 5, a collimator lens 6, an

angular-dispersion component 7, and an output optical fiber 13 by the order to which light progresses.

In addition, a condenser lens 10 is the same as the aspheric surface single lens 2. Therefore, a condenser lens 10 expresses by explanation of an optical system henceforth.

[0066]

Next, an operation of an optical part multiplexing machine is explained. Light is injected from the input optical fiber 5 which is the input section of an optical multiplexer/demultiplexer 4, and progresses with breadth by the angle of divergence decided by NA of the input optical fiber 5. By the collimator lens 6, this light turns into abbreviation parallel light, and carries out incidence with the include angle in the diffraction grating which is an angular-dispersion component. As for the injection light from the diffraction grating 7 of an angular-dispersion component, the angle of emergence changes with wavelength. The parallel light which has a field angle for every wavelength is injected from the diffraction grating 7 of an angular-dispersion component, and condenses in the location where a focal plane changes for every wavelength with condenser lenses 10 which have high aberration amendment capacity to all this injection light. It separates spectrally by putting the output optical fiber 13 on the location corresponding to a focal plane for every wavelength.

[0067]

Here, a condenser lens 10 (aspheric surface single lens 2 of this invention) is a lens with high aberration amendment capacity. Therefore, the beam of light of all the field angles that condensed with this condenser lens 10 has few amounts of curvatures of field, and can form the small focus of wave aberration. This combines with the output optical fiber 13 arranged in the focal location at high joint effectiveness. Consequently, in the optical multiplexer/demultiplexer 4 of the gestalt of this operation, a quantity of light loss can transmit a lightwave signal few.

Moreover, it is also possible to multiplex by sending light to hard flow by taking out the light to input from the output optical fiber 13 conversely.

[0068]

In addition, a collimator lens 6 is not necessarily required of the optical part multiplexing machine 4. Moreover, a diffraction grating may be processed into the plane of incidence 8 of a diffraction grating 7. Moreover, the unnecessary high order diffracted light is removable by preparing the diaphragm by protection-from-light coating spreading, a RINSEI copper plate, etc. in the injection side 9. These drawing serves as the entrance pupil formation section.

[0069]

It can use, if the angle of emergence of the light injected as an angular-dispersion component with the wavelength of the light by which incidence is carried out differs. However, if the variance of an angular-dispersion component is small, the distance to the output fiber 13 will become long, and will cause enlargement of equipment. Or the separation for every wavelength becomes difficult. Therefore, what has the to some extent large variance of an angular-dispersion component is desirable. The Fabry-Perot etalon, Fabry-Perot interferometer, a VIPA plate, prism, etc. are one of those can be used instead of a diffraction grating 7.

[0070]

Moreover, existence of the processing field of a diffraction grating can be made into the entrance pupil formation section as a diaphragm as it is as mentioned above as the entrance pupil formation section of optical system. A pupil may be formed by attachment of drawing, such as a RINSEI copper plate which extracts in protection-from-light coatings etc. on the lattice plane, and shades in a configuration, drawing production with a mechanism frame, etc. It is not necessary to be necessarily on the field of an angular-dispersion component. For example, you may detach and arrange from an angular-dispersion component so that the diffracted light of a need degree may be passed in an optical path. Moreover, the processing field of a diffraction grating can be made larger than the magnitude of incoming beams, and a diaphragm cannot be established, either. In this case, the flux of light configuration on the diffraction-grating side from an incident light fiber or a collimator lens serves as an entrance pupil as it is. At this time, a diffraction-grating side serves as the entrance pupil formation section. Even if it uses the above-mentioned thing instead as an angular-dispersion component, the configuration as the entrance pupil formation section can be chosen similarly.

[0071]

Moreover, although considered as the output optical fiber 13 as waveguide all over drawing, it can also transpose to the waveguide instead manufactured with the semi-conductor etc.

[0072]

Drawing 14 is the outline block diagram of the distributed compensator which is the optical system of this invention. Drawing 14 shows the situation of the cross section within a field including the distributed direction of an angular-dispersion component. 5 is an input optical fiber which leads input light to a distributed compensator. 6 is a collimator lens and makes parallel light emission light from the input optical fiber 5. 15

is a cylindrical lens. 16 is Fabry-Perot interferometer used as an angular-dispersion component, and has the operation which changes whenever [ angle-of-emergence ] with the wavelength of the inputted light. 17 and 18 are the plane of incidence of Fabry-Perot interferometer, and a injection side, respectively. The inside of the effective injection field processed on this injection side 18 serves as an entrance pupil of the aspheric surface single lens optical system of this invention as it is. 10 is a condenser lens which consists of an aspheric surface single lens 2. an incidence side -- 11 has turned the 1st page of a convex to the incidence side in the aspheric surface configuration. moreover, it is a injection side -- 12 [ page / 2nd ] consists of a flat surface or a concave surface. 19 is a reflective mirror and consists of curved surfaces of a three dimension, for example, the free sculptured surface of rotation asymmetry etc. Thus, the distributed compensator 14 is constituted by the order to which the light of light progresses by the input optical fiber 5, a collimator lens 6, the cylindrical lens 15, the angular-dispersion component 16, the condenser lens 10, and the reflective mirror 19.

#### [0073]

Next, an operation of the distributed compensator 14 is explained: The light transmitted in the optical fiber is injected from the edge of the input optical fiber 5 which is the input section of a distributed compensator. The light injected from the edge of the input optical fiber 5 which is input light progresses with breadth by the angle of divergence decided by NA of a fiber. By the collimator lens 6, this light turns into abbreviation parallel light, and carries out incidence to a cylindrical lens 15. This cylindrical lens 15 has power only in the distributed direction of the angular-dispersion component 16. Therefore, the light which injected the cylindrical lens turns into light of the shape of an abbreviation straight line which condensed only to 1 shaft orientations, and carries out incidence to Fabry-Perot interferometer 16. At this time, incidence of the abbreviation straight-line-like light is carried out with an include angle to the incidence section of Fabry-Perot interferometer 16. In addition, Fabry-Perot interferometer 16 is used for the angular-dispersion component with the gestalt of this operation.

#### [0074]

The medium of Fabry-Perot interferometer 16 is optical glass. And it is incidence side reflector 17b in which the permeability of incidence partial 17a of the plane of incidence 17 in drawing 14 has near to 100%, and the other field has the reflection factor of 100% of abbreviation. On the other hand, the injection side 18 has the rate of internal reflection smaller than the reflection factor of incidence side reflector 17b.

Since it is such structure, the light which carried out incidence produces a multiple echo inside. Consequently, a difference arises at the include angle injected about each light in which it interfered for every wavelength. Moreover, the beam of light injected from Fabry-Perot interferometer 16 serves as the abbreviation parallel flux of light, and can be dealt with as a usual parallel light.

[0075]

Thus, the angular-dispersion component has the composition that distribution can be given in the one direction, and the light to inject turns into light from which the angle of emergence is different only in 1 shaft orientations with wavelength. The Fabry-Perot etalon and a VIPA plate can also be used instead of Fabry-Perot interferometer 16. Incidence of the light of the shape of an abbreviation straight line which condensed only to 1 shaft orientations by the cylindrical lens can be carried out. The light from which the angle of emergence differs with wavelength by this only in the direction which condensed by the cylindrical lens, and this direction can be made to inject. The direction (the vertical direction in alignment with space) which makes the light from which the angle of emergence differs with wavelength here inject is made into the distributed direction.

[0076]

The injection light from an angular-dispersion component condenses to a focal plane with the focus which changes for every wavelength with condenser lenses 10. This condenser lens 10 has the aberration amendment capacity that it can respond to change of the angle of emergence by wavelength. By the difference in the angle of emergence by wavelength, this condenser lens 10 produces change of the reflective location for every wavelength in the distributed direction of the angular-dispersion component on the 19th page of the reflective mirror arranged in the abbreviation focal plane.

[0077]

The reflective mirror 19 is formed in the curved surface of a three dimension so that the optical-path-length difference corresponding to a variance may be produced. Thus, the distributed compensator of the gestalt of this operation can compensate the group-delay difference (distribution) by wavelength with giving this optical-path-length difference. In addition, the inputted lightwave signal needs to double with the group-delay difference which it has for every wavelength, and needs to make the optical path difference adjustable. That is, it is necessary to make distance to the 19th page of a reflective mirror into the distance from which the proper optical path difference is acquired for every wavelength. For that purpose, it is

considering as the configuration from which the suitable optical path difference is acquired by moving the reflective mirror 19.

The reflective spot of the reflective mirror 19 which exists in the distributed direction (the vertical direction on space) is made to change with migration of the reflective mirror 19 in drawing 14. For example, if the cross-section configuration where the space of the reflective mirror 19 was met sees from a condenser lens 10 side and it will make it the free sculptured surface which carries out concave configuration change from a convex configuration when moving the reflective mirror 19 in the direction perpendicular to space, distribution of a lightwave signal can be compensated with moving a reflective mirror to the proper location of a direction perpendicular to space also to distributions, such as normal dispersion or negative distribution.

[0078]

It reflects in the location of a reflector which is different for every wavelength, with the optical path difference having, and the light of each wavelength goes to hard flow, and carries out incidence of the above-mentioned optical path to an incident light fiber again. Moreover, the lightwave signal with which distribution was compensated can be acquired by arranging a circulator etc. the middle (un-illustrating) and branching a lightwave signal.

[0079]

By [ containing an angular-dispersion component, a condenser lens, and a reflective mirror ] constituting, a distributed compensator with few insertion losses is realizable as mentioned above irrespective of the variance to compensate. Moreover, the distributed compensator with which degradation of the lightwave signal by the distribution which optics, such as an optical fiber, have is compensated is realizable.

[0080]

In the optical system of such this invention, the beam of light injected from an angular-dispersion component turns into a beam of light which has, the beam of light, i.e., the field angle, from which the angle of emergence differs. When reflected in a reflective mirror side, as for all the beams of light with this field angle, it is desirable for wave aberration to be small. Since the aspheric surface single lens of this invention which is a condenser lens is designed so that the amount  $W$  of wave aberration may fill  $W \leq 0.1\lambda$  in all beams of light in the focal location, a quantity of light loss can consider as few optical systems.

[0081]

In addition, a collimator lens 6 is not necessarily required of the distributed

compensator 14. If the angle of emergence of the light injected as an angular-dispersion component with the wavelength of the light by which incidence is carried out differs, it can use, however if the variance of an angular-dispersion component is small, the distance to the output fiber 13 will become long, and will cause enlargement of equipment. Or wavelength separation becomes difficult and it becomes difficult to carry out distributed compensation. Therefore, what has the to some extent large variance of an angular-dispersion component is desirable. Instead of Fabry-Perot interferometer 16, it can also transpose to a diffraction grating, the Fabry-Perot etalon, a VIPA plate, prism, etc. as an angular-dispersion component.

[0082]

As the entrance pupil formation section of optical system, the service area of the interferometer 16 injection side 18 can be made into the entrance pupil formation section as it is as mentioned above. You may carry out by attachment of drawing, such as a RINSEI copper plate which extracts in protection-from-light coatings etc. on the injection side 18, and shades in a configuration, drawing production with a mechanism frame, etc. The entrance pupil formation section does not necessarily need to be on the field of an angular-dispersion component. For example, you may detach and arrange from an angular-dispersion component so that the diffracted light of a need degree may be passed in an optical path. Moreover, the processing field of an interferometer can be made larger than the magnitude of incoming beams, and a diaphragm cannot be established, either. In this case, the flux of light configuration on the interferometer injection side from an incident light fiber or a collimator lens serves as an entrance pupil as it is. At this time, an interferometer injection side serves as the entrance pupil formation section. Even if it uses the above-mentioned thing instead as an angular-dispersion component, the configuration as the entrance pupil formation section can be chosen similarly.

[Effect of the Invention]

The loss which a curvature of field generates in optical system small can be suppressed to the minimum small [ the optical system equipped with the aspheric surface single lens optical system and its aspheric surface single lens optical system of this invention as explained above / the wave aberration which remains in all the light that carried out incidence ].

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the sectional view of the 1st example of the aspheric surface single lens optical system of this invention.

[Drawing 2] It is the sectional view of the 2nd example of the aspheric surface single

lens optical system of this invention.

[Drawing 3] It is the sectional view of the 3rd example of the aspheric surface single lens optical system of this invention.

[Drawing 4] It is the sectional view of the 4th example of the aspheric surface single lens optical system of this invention.

[Drawing 5] It is the sectional view of the 5th example of the aspheric surface single lens optical system of this invention.

[Drawing 6] It is the sectional view of the 6th example of the aspheric surface single lens optical system of this invention.

[Drawing 7] It is drawing showing the spherical aberration of the aspheric surface single lens optical system of the example 1 of this invention, astigmatism, and distortion aberration.

[Drawing 8] It is drawing showing the spherical aberration of the aspheric surface single lens optical system of the example 2 of this invention, astigmatism, and distortion aberration.

[Drawing 9] It is drawing showing the spherical aberration of the aspheric surface single lens optical system of the example 3 of this invention, astigmatism, and distortion aberration.

[Drawing 10] It is drawing showing the spherical aberration of the aspheric surface single lens optical system of the example 4 of this invention, astigmatism, and distortion aberration.

[Drawing 11] It is drawing showing the spherical aberration of the aspheric surface single lens optical system of the example 5 of this invention, astigmatism, and distortion aberration.

[Drawing 12] It is drawing showing the spherical aberration of the aspheric surface single lens optical system of the example 6 of this invention, astigmatism, and distortion aberration.

[Drawing 13] It is the outline block diagram of the optical part multiplexing machine which is the optical system of this invention.

[Drawing 14] It is the outline block diagram of the distributed compensator which is the optical system of this invention.

[Description of Notations]

1 Entrance Pupil Location

2 Aspheric Surface Single Lens

3 Focal Plane

4 Optical Part Multiplexing Machine

- 5 Input Optical Fiber**
- 6 Collimator Lens**
- 7 Diffraction Grating (Angular-Dispersion Component)**
- 8 Diffraction-Grating Plane of Incidence**
- 9 Diffraction-Grating \*\*\*\*\***
- 10 Condenser Lens (Aspheric Surface Single Lens)**
- 11 Condenser Lens Plane of Incidence**
- 12 Condenser Lens Injection Side**
- 13 Output Optical Fiber**
- 14 Distributed Compensator**
- 15 Cylindrical Lens**
- 16 Fabry-Perot Interferometer**
- 17 Interferometer Plane of Incidence**
- 17a Interferometer plane of incidence (incidence part)**
- 17b Interferometer plane of incidence (100% reflective part)**
- 18 Interferometer Injection Side**
- 19 Reflective Mirror**

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-272001

(P2004-272001A)

(43) 公開日 平成16年9月30日(2004.9.30)

(51) Int.CI.<sup>7</sup>

GO2B 13/00

GO2B 13/18

GO2B 27/00

F 1

GO2B 13/00

GO2B 13/18

GO2B 27/00

テーマコード(参考)

2H087

Z

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号

特願2003-63984 (P2003-63984)

(22) 出願日

平成15年3月10日 (2003.3.10)

(71) 出願人 000000376

オリンパス株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 ▲高▼橋 浩一

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

オリンパス光

学工業株式会社内

F ターム(参考) 2H087 KA22 LA01 PA01 PA17 PB01

QA02 QA12 QA13 RA01 RA12

(54) 【発明の名称】非球面単レンズ光学系および非球面単レンズ光学系を備えた光学システム。

(57) 【要約】

【課題】入射した光の全てにおいて残存する波面収差が小さく、かつ像面弯曲が小さく光学系で発生するロスを極小に抑えることを可能とする前記非球面単レンズを提供する。

【解決手段】入射側から順に、入射瞳形成部と、入射側の面が正パワーの非球面である非球面単レンズとで構成され、前記非球面単レンズは以下の条件(1)から(3)を満たす。

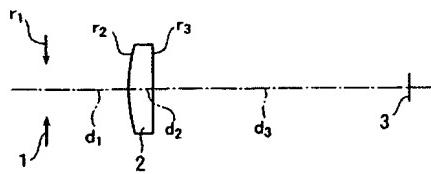
$$(1) \quad 0.05 < R_1/f < 1.0$$

$$(2) \quad 0.2 < (D + S_B)/f < 1.0$$

$$(3) \quad 0.01 < I_H/f < 0.1$$

ただし、R<sub>1</sub>はレンズの入射側から第1面の基準曲率半径、fは焦点距離、Dはレンズ中心の厚さ、S<sub>B</sub>は入射瞳形成部で決まる入射瞳位置から非球面単レンズの第1面までの長さ、I<sub>H</sub>は非球面単レンズに入射する入力光の最大像高である。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項1】**

入射側から順に、入射瞳形成部と、入射側の面が正パワーの非球面である非球面単レンズとで構成され、前記非球面単レンズは以下の条件（1）から（3）を満たすことを特徴とする非球面単レンズ光学系。

- $$(1) \quad 0.05 < R_1/f < 1.0$$
- $$(2) \quad 0.2 < (D+SB)/f < 1.0$$
- $$(3) \quad 0.01 < IH/f < 0.1$$

ただし、 $R_1$ はレンズの入射側から第1面の基準曲率半径、 $f$ は焦点距離、 $D$ はレンズ中心の厚さ、 $SB$ は前記入射瞳形成部で決まる入射瞳位置から非球面単レンズの第1面までの長さ、 $IH$ は非球面単レンズに入射する入力光の最大像高である。

**【請求項2】**

前記非球面単レンズ光学系は、角分散素子を有することを特徴する請求項1に記載の非球面単レンズ光学系。

**【請求項3】**

前記非球面単レンズの第2面は平面であることを特徴とする請求項1または2に記載の非球面単レンズ光学系。

**【請求項4】**

前記非球面単レンズの第2面は凹面であることを特徴とする請求項1または2に記載の非球面単レンズ光学系。

**【請求項5】**

条件（4）を満足することを特徴とする請求項4に記載の非球面単レンズ光学系。

$$(4) \quad 1 < R_2/R_1 < 10$$

ただし、 $R_1$ 、 $R_2$ は非球面単レンズの入射面側から第1面、第2面の曲率半径である。

**【請求項6】**

前記非球面単レンズの第1面が凸面であり、かつ、条件（5）、（6）を満たす非球面であることを特徴とする請求項1から5に記載の非球面単レンズ光学系。

$$(5) \quad -40 < k < 15$$

$$(6) \quad 1.0 \times 10^{-8} < a < 9.0 \times 10^{-4}$$

ただし、 $k$ は非球面形状の式の円錐定数、 $a$ は非球面式の4次の非球面係数である。

**【請求項7】**

条件（7）を満足することを特徴とする請求項1から6に記載の非球面単レンズ光学系。

$$(7) \quad 0.05 < NA' < 0.25$$

ただし、 $NA'$ は非球面単レンズの像側の開口数である。

**【請求項8】**

条件（8）を満足することを特徴とする請求項1から7に記載の非球面単レンズ光学系。

$$(8) \quad 20 < \nu_d < 95$$

ただし、 $\nu_d$ は非球面単レンズの硝材のアッベ数である。

**【請求項9】**

条件（9）を満足することを特徴とする請求項1から8に記載の非球面単レンズ光学系。

$$(9) \quad 10 < f < 100$$

ただし、 $f$ は非球面単レンズの焦点距離である。

**【請求項10】**

光ファイバーから射出した光を前記角分散素子と集光レンズと導波路を用いて分合波を行う光学システムであって、集光レンズに請求項1から9に記載の非球面単レンズ光学系を備えたこと特徴とする光学システム。

**【請求項11】**

光ファイバーから射出した光を前記角分散素子と集光レンズと反射ミラーを用いて分散補償を行う光学システムであって、集光レンズに請求項1から9に記載の非球面単レンズ光学系を備えたこと特徴とする光学システム。

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明が属する技術分野】**

本発明は、光通信等に用いられる非球面単レンズ光学系、及び非球面単レンズ光学系を備えた光学システムに関するものである。特には光合分波器や分散補償器に用いられる非球面単レンズ光学系、及びその非球面単レンズ光学系を備えた光学システムに関するものである。

**【0002】****【従来の技術】**

近年、光通信においては、通信トラフィックの増大に伴って通信速度の高速化、波長多重による大容量化が計られている。通信速度の高速化に伴い、温度変化などの環境の影響などでも光信号が劣化する現象が生じることが知られている。

**【0003】**

その光信号の劣化を補償するために、例えば、光ファイバーの分散、分散スロープ、偏波分散などを可変で補償することが必要である。これまでに提案された分散補償器には、角分散素子を用い、波長によって光路を変化させ、それぞれの波長による光路長差を生じさせることによって補償を行う装置がある。(例えば、特許文献1参照)

**【0004】**

また、波長多重によって、光ファイバーに数波～数100波の波長を用いて光信号を伝送する場合には、伝送中における操作として、分歧、ADD/DROP、各補償のための分波、合波を行うものがある。(例えば、参考文献2参照)

**【0005】**

このような、光信号の操作において、入力光をコリメート或いは結合する場合には、波長により射出角の異なる軸上光線以外の入力光をそれぞれ所望の像高で集光する必要がある。しかし、従来の光ファイバー用コリメートレンズでは、軸上光線のみの収差を補正しているため、軸外光線の入射により焦点位置のずれが発生する。また、入射角の変化に十分対応していないため、入射角が変化すると光ファイバーとの結合効率の低下が発生し、光量ロスが大きくなるといった問題がある。よって軸上性能のみよいコリメートレンズは、このような軸外光束を含む光学系には適していない。

**【0006】**

また、光通信、光記録用途には、波面収差が0.1λ以下もしくは、0.07λ以下であるレンズ、いわゆる無収差レンズが望ましい。そこで、入力光を集光する光学系としては、2枚以上の組み合わせレンズや屈折率分布型レンズ等を適用することも考えられる。しかし、2枚以上の組み合わせレンズでは接合面での光量ロスや装置が大型化するといった問題がある。また、屈折率分布型レンズでは、製造工程の複雑化によるコストの上昇といった問題がある。したがって、上記光信号の操作のための入力光を集光する光学系としては、均質なガラスの単レンズを用いた光学系が望まれる。

**【0007】**

単レンズを用いた光学系には以下のようなものがある。

▲1▼絞りとこの絞りに凹面向けた正のメニスカスレンズで構成されたもの(特許文献3参照)、

▲2▼コスト低減のため第1面を非球面、第2面を球面で構成したもの(特許文献4参照)、

▲3▼第1面が凸、第2面が凹のメニスカスレンズで第1面、第2面とも非球面係数を使用しない非球面に形成し、製造誤差を減らしコスト低減を図ったもの(特許文献5参照)

▲4▼物体側から順に、前置き絞り、メニスカス形状の正の単レンズで、単レンズは物体側より非球面からなる第1面、像側に凸面向けた非球面からなる第2面で構成されたもの(特許文献6参照)

**【0008】**

## 【特許文献1】

特表2000-511655号公報

## 【特許文献2】

特開平9-430579号公報

## 【特許文献3】

特開平7-5358号公報(第5頁、図8、図11、図17)

## 【特許文献4】

特開平7-261074号公報(第5頁、図1)

## 【特許文献5】

特開平8-313806号公報(第4頁、図1)

## 【特許文献6】

特開2002-98885号公報(第8頁、図1、図3、図5、図7)

## 【0009】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、前記▲1▼の光学系では、画角を有する周辺光線が絞りから第1面に入射するとレンズでの光線高が高くなる。これにより軸外収差が補正不足となり、軸外の波面収差が残存してしまうという問題がある。

## 【0010】

また、前記▲2▼の光学系では、コリメートレンズで両凸レンズであるため、ペツツバール和が大きく、画角の大きい場合には像面湾曲補正が困難になる。そのため像面湾曲により光信号の結合時の光束が広がり、光量のロスが発生するといった問題がある。

## 【0011】

同様に、前記▲3▼の光学系では非球面形状を円錐定数のみとしているため、周辺光線の収差補正特にコマ収差や非点収差等の補正が困難となるといった問題がある。

## 【0012】

また、前記▲4▼の光学系では前置絞りが光学系に近い構成のため、画角が小さい角分散素子からの射出光を分波することが難しいといった問題がある。

## 【0013】

本発明は、上記の問題に鑑み、入射した光の全てにおいて残存する波面収差が小さく、かつ像面湾曲が小さく光学系で発生する光量ロスを極小に抑えることのできる非球面単レンズ光学系を提供することを目的とする。また、その非球面単レンズ光学系を用いた光学システムを提供することを目的とする。

## 【0014】

## 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本第1の発明による非球面単レンズ光学系は、入射側から順に、入射瞳形成部と、入射側の面が正パワーの非球面である非球面単レンズとで構成され、前記非球面単レンズは以下の条件(1)から(3)を満たすことを特徴としている。

$$(1) \quad 0.05 < R_1/f < 1.0$$

$$(2) \quad 0.2 < (D + S_B)/f < 1.0$$

$$(3) \quad 0.01 < I_H/f < 0.1$$

ただし、R<sub>1</sub>はレンズの入射側から第1面の基準曲率半径、fは焦点距離、Dはレンズ中心の厚さ、S<sub>B</sub>は入射瞳形成部で決まる入射瞳位置から非球面単レンズの第1面までの長さ、I<sub>H</sub>は非球面単レンズに入射する入力光の最大像高である。

## 【0015】

また、本発明による非球面単レンズ光学系を用いた光学システムは、光ファイバーから射出した光を角分散素子と集光レンズと導波路を用いて分合波を行う光学システムであって、集光レンズに上記の非球面単レンズ光学系を備えたこと特徴としている。

## 【0016】

また、本発明による非球面単レンズ光学系を用いた光学システムは、光ファイバーから射出した光を角分散素子と集光レンズと反射ミラーを用いて分散補償を行う光学システムで

あって、集光レンズに上記の非球面単レンズ光学系を備えたこと特徴としている。

#### 【0017】

##### 【発明の実施の形態】

実施例の説明に先立ち、本発明の作用について説明する。

本発明の非球面単レンズ光学系は、入射側から順に、入射瞳形成部と、入射側の面が正パワーの非球面である非球面単レンズとで構成され、前記非球面単レンズは後述の条件式を満たすものである。これにより入射した光の全てにおいて残存する波面収差が小さく、かつ像面湾曲が小さいために光学系で発生する光量ロスを極小に抑えることができる。

なお、光路中に角分散素子を配置した場合、角分散素子で波長により異なる射出角度を有する光束に分岐される。そこで本発明の非球面単レンズ光学系を用いることにより、このような構成であってもそれぞれ各波長毎に異なる角度をもつ光束を良好に焦点面に集光させることができる。

#### 【0018】

次に、条件式について説明する。条件(1)はレンズの主な正のパワーを有する面である第1面の適正なパワーの範囲を規定している。

$$(1) \quad 0.05 < R_1/f < 1.0$$

ただし、R<sub>1</sub>はレンズの入射側から第1面の非球面成分を除いた基準曲率半径、fは単レンズの焦点距離である。

#### 【0019】

ここで上限の1.0を超えると、第1面のパワーが小さくなり、メリジオナル像面が像側に倒れる。したがって、軸外における非点隔差が大きくなり、結像性能を悪化させる。一方、下限の0.05を超えて小さくなると、第1面のパワーが大きくなり、球面収差、コマ収差がマイナスに大きくなる。下限値は0.1または0.15であればより望ましく、上限値は0.8または0.78であればより望ましい。例えば、次の条件式(1-1)あるいは(1-2)を満足するのがより望ましい。

$$(1-1) \quad 0.1 < R_1/f < 0.8$$

また、上限値が0.4であればより望ましく、例えば、次の条件式(1-2)を満足するのがより望ましい。

$$(1-2) \quad 0.4 < R_1/f < 0.8$$

#### 【0020】

条件(2)は結像面での像高を確保し、かつ像面湾曲の範囲を適正にする条件である。

$$(2) \quad 0.2 < (D+SB)/f < 1.0$$

ただし、Dはレンズ中心の厚さ、SBは入射瞳位置から非球面単レンズの第1面までの長さである。特にSBは入射瞳が偏心している場合は非球面単レンズの光軸上における長さとする。

#### 【0021】

ここで上限1.0を超える場合は瞳からレンズまでの距離が大きくなり、像面が像側に大きく傾く。また、装置の大型化を招く。下限0.2を超えて小さくなると、メリジオナル像面が物体側に大きく傾く。また、焦点面に入射する主光線の傾きが大きくなる。そのため、テレセントリック性が重要な光学系では、上記条件式(2)を満足しないと光量のロスが発生し不都合となる。

#### 【0022】

下限値は0.3であればより望ましく、上限値は0.9であればより望ましい。例えば、次の条件式(2-1)を満足するのがより望ましい。

$$(2-1) \quad 0.3 < (D+SB)/f < 0.9$$

また、上限値が0.45であればさらにより望ましく、例えば、次の条件式(2-2)を満足するのがより望ましい。

$$(2-2) \quad 0.3 < (D+SB)/f < 0.45$$

#### 【0023】

条件(3)はレンズに入射した光が焦点面に集光する高さの適正な範囲を規定する。

$$(3) 0.01 < IH/f < 0.1$$

ただし、IHは非球面単レンズに入射する入力光の最大像高である。

【0024】

ここで上限の0.1を超えるとレンズに入射する入射角が大きくなりすぎ、単レンズでは収差補正しきれないレベルになってしまう。下限の0.01を超えて小さくなると、画角が小さくなりすぎるため、十分な波長分岐を行うため光路長を長くする必要があり、装置の大型化を引き起こしてしまう。

【0025】

下限値は0.03または0.04であればより望ましく、上限値は0.08または0.09であればより望ましい。例えば、次の条件式(3-1)を満足するのがより望ましい。

$$(3-1) \quad 0.03 < IH/f < 0.08$$

また、上限値が0.06であればより望ましく、例えば、次の条件式(3-2)を満足するのがより望ましい。

$$(3-2) \quad 0.03 < IH/f < 0.06$$

【0026】

本発明の非球面単レンズ光学系は、角分散素子を有することが望ましい。この角分散素子により、入射光の波長毎にその射出角度を変化させ、波長毎の分岐ができる。

【0027】

本発明の非球面単レンズ光学系は、第2面が平面である正の凸平レンズであることが望ましい。第2面を平面にすることで1面の加工上の制約が緩和され、低コスト化が図ることができる。また、第2面の曲率半径を大きくし、凸平レンズに近い形状とすることによっても同様の効果を得ることができる。

【0028】

また、本発明の非球面単レンズ光学系は、非球面単レンズの第2面が凹面である正のメニスカスレンズであってもよい。第2面を像面側に対して凹面として、第1面と第2面の2つ面で収差補正ができるため、特に軸外収差補正において有利になる。例えば軸外収差を示すものとしてペツツバール和がある。ペツツバール和は、各光学面のパワーを屈折率で割った値の積算で求められる。そのため、第2面を凹面として、ペツツバール和を小さくすることが可能になり像面湾曲が低減される。

【0029】

下記の条件(4)は、メニスカスレンズの各面のパワー配分を適正な範囲を規定するものである。特に球面収差、コマ収差、像面湾曲の状態をバランスよく補正するための条件となる。

$$(4) \quad 1 < R_2/R_1 < 10$$

ただし、R1、R2は非球面単レンズの入射面側から第1面、第2面の曲率半径である。

【0030】

ここで上限の10を超えて大きくなると、第2面に対する第1面の正のパワーが大きくなり、球面収差、コマ収差の補正が困難になる。下限の1を超えて小さくなると、メニスカス凸レンズの効果がえられず、像面湾曲の補正が困難になる。

【0031】

上限値は9であればより望ましい。例えば、次の条件式(4-1)を満足するのがより望ましい。

$$(4-1) \quad 1 < R_2/R_1 < 9$$

また、下限値が7であればより望ましく、例えば、次の条件式(4-2)を満足するのがより望ましい。

$$(4-2) \quad 7 < R_2/R_1 < 10$$

また、メニスカス形状としたときは、上限値が2.5であればより望ましく、例えば、次の条件式(4-3)を満足するのがより望ましい。

$$(4-3) \quad 1 < R_2/R_1 < 2.5$$

## 【0032】

本発明の非球面単レンズは、第1面が凸面の非球面であり、形状は次の非球面形状の式で表される。

$$Z = (y^2 / R) / [1 + \{1 - (1+k) y^2 / R^2\}^{1/2}] \\ + ay^4 + by^6 + cy^8 + dy^{10} + \dots$$

ただし、Zを光の進行方向を正とした光軸（軸上主光線）とし、yを光軸と垂直な方向にとり、Rは近軸曲率半径、kは円錐定数、a、b、c、d、…はそれぞれ4次、6次、8次、10次の非球面係数である。

## 【0033】

条件式(5)は、上記非球面の形状を表す式の円錐定数kの値の適正な範囲を規定するもので、第1面のベースとなる形状を決めている。

$$(5) \quad -40 < k < 15$$

## 【0034】

ここで、上限の15を超えると大きくなると、周辺の面のかたむきが急峻になり、加工が困難になる場合がある。また下限の-40を超えて小さくなると、主な正のパワーを有する第1面において光軸周辺の十分なパワーが得られなくなる。

## 【0035】

下限値は-30または-20であればより望ましく、上限値は10または1であればより望ましい。例えば、次の条件式(5-1)あるいは(5-2)を満足するのがより望ましい。

$$(5-1) \quad -30 < k < 10$$

$$(5-2) \quad -20 < k < 1$$

また、上限値が-0.7であればより望ましく、例えば、次の条件式(5-3)を満足するのがより望ましい。

$$(5-3) \quad -20 < k < -0.7$$

また、メニスカス形状としたとき下限値が-0.1であればより望ましく、例えば、次の条件式(5-4)を満足するのがより望ましい。

$$(5-4) \quad -0.1 < k < 1$$

## 【0036】

また、条件(6)は、4次の非球面係数aの適正な範囲を規定している。

$$(6) \quad 1.0 \times 10^{-8} < a < 9.0 \times 10^{-4}$$

## 【0037】

上限の $9.0 \times 10^{-4}$ を超えると大きくなると、周辺のサグ量が増大し、加工が困難になる場合がある。下限の $1.0 \times 10^{-8}$ を超えて小さくなると、面形状における非球面形状効果が軽微になり、十分な非球面効果が得られない。

## 【0038】

下限値は、 $1.0 \times 10^{-7}$ または $3.0 \times 10^{-6}$ であればより望ましく、上限値は $5.0 \times 10^{-4}$ または $6.0 \times 10^{-5}$ であればより望ましい。例えば、次の条件式(6-1)あるいは(6-2)を満足するのがより望ましい。

$$(6-1) \quad 1.0 \times 10^{-7} < a < 5.0 \times 10^{-4}$$

$$(6-2) \quad 3.0 \times 10^{-6} < a < 6.0 \times 10^{-5}$$

## 【0039】

下記の条件式(7)は、レンズの開口数の適正な範囲を規定する条件式である。

$$(7) \quad 0.05 < NA' < 0.25$$

ただし、NAは、非球面単レンズの像側の開口数である。

## 【0040】

回折格子、ファブリペロー干渉計、VIPA板などの角分散素子を用いる場合には、角分散素子からの射出光束が素子による多重干渉によって生成される。このとき、多重干渉する方向、つまり角分散する方向の素子の長さが不足していれば、十分な射出光の光量を得ることが出来ない。非球面単レンズに導かれる入力光束の大きさは大きい方が好ましい。

したがって、レンズの像側の開口数NA'はある値を持つ必要があり、その最適な範囲を規定している。

【0041】

上限の0.25を超えて大きくなると、高次のコマ収差が発生し、周辺光線の結像性能を悪化させる。下限の0.05を超えて小さくなると、バックフォーカスが長くなりすぎ装置全体が大型化してしまう。

【0042】

下限値は0.08であればより望ましく、上限値は0.2であればより望ましい。例えば、次の条件式(7-1)を満足するのがより望ましい。

$$(7-1) \quad 0.08 < NA' < 0.2$$

【0043】

下記の条件式(8)は非球面単レンズの硝材のアッペ数の最適な範囲を規定している。

$$(8) \quad 20 < \nu d < 95$$

ただし、 $\nu d$ は非球面単レンズの硝材のアッペ数である。

【0044】

大容量のデータを伝送するため、1本の光ファイバに異なる波長の光を通してチャネルを多重化が行われている。使用する波長帯域を広げればそれだけ多くの波長数が得られるため有利である。そこで、例えば約1200nmから約1700nmまでの波長の帯域の光を通信に用いることが考えられる。その場合、本発明の非球面単レンズに用いる硝材の有する分散は低い方が望ましい。ここで通常、光学素子に用いられる硝材の分散値はアッペ数 $\nu d$ 、 $\nu e$ で表現されており、可視域の波長における分散を表現しているが、通常の光学材料はこれらで分散を表現するため、本発明における硝材の分散特性も $\nu d$ で規定する。

【0045】

上限の95を超えるて大きくなると、含有する元素が特殊な構成になり、安定した品質を確保できない。下限の20を超えて小さくなると、分散が大きくなり広い波長帯域における良好な結像性能が得られない。

【0046】

下限値は30または40であればより望ましく、上限値は90または85であればより望ましい。例えば、次式のようであれば望ましい。

$$(8-1) \quad 30 < \nu d < 90$$

$$(8-2) \quad 40 < \nu d < 85$$

【0047】

下記の条件式(9)は本発明の光学系の焦点距離の適正な範囲を規定する条件式である。

$$(9) \quad 10(\text{mm}) < f < 100(\text{mm})$$

ただし、 $f$ は非球面単レンズの焦点距離である。

【0048】

角分散素子に入射した光は、入射光の波長によって射出角が異なる。その射出角は非常に小さいため、分合波器や分散補償器などでは、焦点で隣合う波長のどうしの光が重ならず、十分に分岐される間隔を確保する必要がある。そのため角分散素子から集光レンズの焦点を結ぶ位置までの距離はある程度の長さが必要である。

例えば1.51μm及び1.6μmの波長の光を格子定数33の回折格子に入射した場合の回折角はそれぞれ2.579degと2.751degであり、その差は0.172degである。焦点距離f=50mmのレンズを用いた場合には、焦点位置における波長による位置(像高)の差は、0.15mmである。よって、導波路列としてシングルモードファイバー列(アレイ)を用いても、0.15mmはファイバーの外形よりも大きい分離量であり、入力光を分岐することが可能となる。

【0049】

上限の100を超えるて大きくなると、装置全体が大型化してしまう。下限の10を超えて小さくなると、角分散効果が小さいものを用いる場合には、特に波長の差による射出角

の変化が小さくなり、波長分岐が十分に行えない。

#### 【0050】

##### 【実施例】

以下、本発明の実施例の図面を用いて説明する。

図1から図6は、本発明非球面単レンズ光学系の1つの形態を示す図である。

#### 【0051】

##### 第1の実施例

図1は本発明非球面単レンズ光学系の第1実施例の断面図であり、図7は第1実施例における球面収差、非点収差、歪曲収差を示す図である。非球面単レンズ2は、入射側の第1面が入射側に凸面を向けた非球面、射出側の第2面が平面で構成されている。

入射瞳位置1において波長毎に角度成分をもった略平行光束が非球面単レンズ2に入射し、焦点面3に焦点を結ぶ。

以下の単レンズ光学系においても同様に作用するので省略する。また、以下符号は同じ機能を有する構成については同じ番号を付すこととする。

次に、第1実施例にかかる非球面単レンズを構成する光学系の数値データを示す。

#### 【0052】

##### 数値データ1

光学系仕様：瞳径=Φ10mm、焦点距離 f=50mm、画角2ω=6度、NA=0.1、

光学系性能：波面収差 軸上Wc=0.0131λ 最周辺Ws=0.0539λ

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッペ数
1	r <sub>1</sub> =∞ (絞り面)	d <sub>1</sub> =15.00		
2	r <sub>2</sub> =38.76 (非球面[1])	d <sub>2</sub> =4.44	n <sub>d1</sub> =1.8061	v <sub>d1</sub> =40.9
3	r <sub>3</sub> =∞	d <sub>3</sub> =45.63		

##### 非球面[1]

曲率半径 38.76

k -3.0348

a 3.2876×10<sup>-6</sup> b 7.0045×10<sup>-9</sup> c 3.5956×10<sup>-9</sup>

d -8.0661×10<sup>-11</sup>

#### 【0053】

##### 第2実施例

図2は本発明非球面単レンズ光学系の第2実施例の断面図であり、図8は第1実施例における球面収差、非点収差、歪曲収差を示す図である。非球面単レンズ2は、実施例1と同様に入射側の第1面が入射側に凸面を向けた非球面、射出側の第2面が平面で構成されている。

次に、第2実施例にかかる非球面単レンズを構成する光学系の数値データを示す。

#### 【0054】

数値データ2

光学系仕様：瞳径=Φ16mm、焦点距離 f=50mm、画角2ω=6度、NA=0.16、

光学系性能：波面収差 軸上Wc=0.0148λ 最周辺Ws=0.077λ

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッペ数
1	r <sub>1</sub> =∞ (絞り面)	d <sub>1</sub> =15.00		
2	r <sub>2</sub> =30.32 (非球面[1])	d <sub>2</sub> =6.02	n <sub>d1</sub> =1.6247	v <sub>d1</sub> =52.8
3	r <sub>3</sub> =∞	d <sub>3</sub> =44.83		

## 非球面[1]

曲率半径 30.32

k -6.9319

a 2.6599×10<sup>-5</sup> b -4.7153×10<sup>-8</sup>

【0055】

第3実施例

図3は本発明非球面単レンズ光学系の第3実施例の断面図であり、図9は第1実施例における球面収差、非点収差、歪曲収差を示す図である。非球面単レンズ2は、入射側の第1面が入射側に凸面を向けた非球面、射出側の第2面がゆるい曲率半径を有するメニスカス形状で構成されている。

次に、第3実施例にかかる非球面単レンズを構成する光学系の数値データを示す。

【0056】

数値データ3

光学系仕様：瞳径=Φ10mm、焦点距離 f=50mm、画角2ω=4.5度、NA=0.1、

光学系性能：波面収差 軸上Wc=0.0135λ 最周辺Ws=0.0335λ

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッペ数
1	r <sub>1</sub> =∞ (絞り面)	d <sub>1</sub> =15.00		
2	r <sub>2</sub> =34.45 (非球面[1])	d <sub>2</sub> =3.00	n <sub>d1</sub> =1.8061	v <sub>d1</sub> =40.9
3	r <sub>3</sub> =297.59 (非球面[2])	d <sub>3</sub> =46.21		

## 非球面[1]

曲率半径 34.45

k -2.0000×10<sup>1</sup>

a 5.7760×10<sup>-5</sup> b -9.0654×10<sup>-8</sup>

## 非球面[2]

曲率半径 297.59

k 1.6129×10<sup>1</sup>

a 9.2488×10<sup>-7</sup> b 2.2741×10<sup>-7</sup>

【0057】

第4実施例

図4は本発明非球面単レンズ光学系の第4実施例の断面図であり、図10は第1実施例における球面収差、非点収差、歪曲収差を示す図である。非球面単レンズ2は、実施例3と同様に入射側の第1面が入射側に凸面を向けた非球面、射出側の第2面がゆるい曲率半径

を有するメニスカス形状で構成されている。

次に、第4実施例にかかる非球面単レンズを構成する光学系の数値データを示す。

【0058】

#### 数値データ4

光学系仕様：瞳径 =  $\Phi 10\text{mm}$ 、焦点距離  $f = 50\text{mm}$ 、画角  $2\omega = 6\text{度}$ 、NA = 0.1、

光学系性能：波面収差 軸上  $w_c = 0.0096\lambda$  最周辺  $w_s = 0.0489\lambda$

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッペ数
1	$r_1 = \infty$ (絞り面)	$d_1 = 15.00$		
2	$r_2 = 21.63$ (非球面[1])	$d_2 = 5.05$	$n_{d1} = 1.4970$	$v_{d1} = 81.5$
3	$r_3 = 181.71$ (非球面[2])	$d_3 = 45.09$		

#### 非球面[1]

曲率半径 21.63

$k = -7.5572 \times 10^{-1}$

$a = 2.9376 \times 10^{-5}$      $b = 6.4339 \times 10^{-7}$      $c = -1.0590 \times 10^{-8}$

$d = 1.3532 \times 10^{-10}$

#### 非球面[2]

曲率半径 181.71

$k = 5.1921 \times 10^2$

$a = 3.1540 \times 10^{-5}$      $b = 2.9622 \times 10^{-7}$

【0059】

#### 第5実施例

図5は本発明非球面単レンズ光学系の第5実施例の断面図であり、図11は第1実施例における球面収差、非点収差、歪曲収差を示す図である。非球面単レンズ2は、入射側の第1面が入射側に凸面を向けた非球面、射出側の第2面が像側に凹面を有するメニスカス形状で構成されている。

次に、第5実施例にかかる非球面単レンズを構成する光学系の数値データを示す。

【0060】

数値データ 5

光学系仕様：瞳径=Φ10mm、焦点距離 f =60mm、画角2ω=9度、NA=0.083、

光学系性能：波面収差 軸上Wc=0.0153λ 最周辺Ws=0.0915λ

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッペ数
1	r <sub>1</sub> =∞ (絞り面)	d <sub>1</sub> =15.00		
2	r <sub>2</sub> =9.56 (非球面[1])	d <sub>2</sub> =4.00	n <sub>d1</sub> =1.8061	v <sub>d1</sub> =40.9
3	r <sub>3</sub> =9.83 (非球面[2])	d <sub>3</sub> =46.05		

## 非球面[1]

曲率半径 9.56

k 3.3855×10<sup>-1</sup>

a 1.7552×10<sup>-5</sup> b 1.2283×10<sup>-6</sup> c -7.3313×10<sup>-9</sup>

d -3.4276×10<sup>-10</sup>

## 非球面[2]

曲率半径 9.83

k 0.0000

a 2.4008×10<sup>-4</sup> b 7.4001×10<sup>-6</sup>

## 【0061】

第6実施例

図6は本発明非球面単レンズ光学系の第6実施例の断面図であり、図12は第1実施例における球面収差、非点収差、歪曲収差を示す図である。非球面単レンズ2は、実施例3と同様に入射側の第1面が入射側に凸面を向けた非球面、射出側の第2面が像側に凹面を有するメニスカス形状で構成されている。

次に、第6実施例にかかる非球面単レンズを構成する光学系の数値データを示す。

## 【0062】

数値データ6

光学系仕様：瞳径 =  $\Phi 10\text{mm}$ 、焦点距離  $f = 25\text{mm}$ 、画角  $2\omega = 6\text{度}$ 、NA = 0.2

光学系性能：波面収差 軸上  $w_c = 0.0212\lambda$  最周辺  $w_s = 0.0672\lambda$

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッペ数
1	$r_1 = \infty$ (絞り面)	$d_1 = 15.00$		
2	$r_2 = 7.27$ (非球面[1])	$d_2 = 6.60$	$n_{d1} = 1.4970$	$\nu_{d1} = 81.5$
3	$r_3 = 12.70$ (非球面[2])	$d_3 = 17.00$		

## 非球面[1]

曲率半径 7.27

$k = -5.6380 \times 10^{-2}$

$a = 5.2237 \times 10^{-5}$   $b = 1.8308 \times 10^{-6}$   $c = -4.7178 \times 10^{-8}$

$d = 2.0047 \times 10^{-9}$

## 非球面[2]

曲率半径 12.70

$k = 6.4216$

$a = 3.8972 \times 10^{-4}$   $b = 1.2240 \times 10^{-6}$   $c = 5.7836 \times 10^{-7}$

## 【0063】

表1に本発明の条件式(1)から(9)の値と波面収差の値を示す。

## 【表1】

実施例	条件式										
	(1) $R1/f$	(2) $(D+SB)/f$	(3) $ H /f$	(4) $k$	(5) $a$	(6) $R2/R1$	(7) $NA$	(8) $\nu_d$	(9) $f(\text{mm})$	波面収差( $\lambda$ ) 中心	波面収差( $\lambda$ ) 軸外
1	0.7753	0.3887	0.0523	-3.03482	3.29E-06	$\infty$	0.1	40.9	50	0.0131	0.0539
2	0.6063	0.4204	0.0523	-6.93192	2.66E-05	$\infty$	0.16	52.8	50	0.0148	0.077
3	0.6889	0.36	0.0401	-20	5.78E-05	8.639	0.1	40.9	50	0.0135	0.0335
4	0.4326	0.401	0.0523	-0.75572	2.94E-05	8.402	0.1	81.6	50	0.0096	0.0489
5	0.1593	0.3167	0.0788	0.33855	1.76E-05	1.029	0.083	40.9	60	0.0153	0.0915
6	0.2906	0.8642	0.0524	-0.05638	5.22E-05	1.748	0.2	81.6	25	0.0212	0.0672

## 【0064】

図13および図14は、本発明の非球面単レンズを備えた光学システムの一実施形態を示す概略構成図である。この概略構成図は各実施例に共通である。

## 【0065】

図13は本発明の光学システムである光分合波器の概略構成図である。図13では角分散素子の分散方向を含む面内の断面の様子を示している。5は光分合波器に入力光を導く入力光ファイバである。6はコリメータレンズであり、入力光ファイバからの発散光を略平行光にする。7は角分散素子として用いられた回折格子であり、入力された光の波長により射出角度を変える作用をもつ。8、9はそれぞれ回折格子の入射面、射出面であり、この射出面9は回折格子が加工された領域と加工されていない領域に分かれている。加工された領域内がそのまま入射瞳形成部として本発明の非球面単レンズ光学系の入射瞳となっている。10は本発明の非球面単レンズ2である集光レンズである。ここでは、入射側

の第1面11が非球面で入射側に凸面を向けている。また、射出面である第2面12は、平面または凹面で構成されている。13は波長に対応した光信号をそれぞれ受ける出力光ファイバである。このように光分合波器4は、光の進む順に、入力光ファイバ5、コリメータレンズ6、角分散素子7、出力光ファイバ13と構成されている。

なお、集光レンズ10は非球面単レンズ2と同じものである。よって、以後光学システムの説明では集光レンズ10で表す。

#### 【0066】

次に、光分合波器の作用について説明する。光は光合分波器4の入力部である入力光ファイバ5から射出され、入力光ファイバ5のNAによって決まる発散角で広がりながら進む。この光はコリメータレンズ6で略平行光となり、角分散素子である回折格子にある角度を持って入射する。角分散素子の回折格子7からの射出光は、波長によって射出角が変化する。波長毎の画角を有する平行光は、角分散素子の回折格子7から射出し、この全ての射出光に対して高い収差補正能力のある集光レンズ10によって波長ごとに焦点面の異なる位置に集光する。焦点面に各波長毎に対応した位置に出力光ファイバ13を置くことにより分波を行う。

#### 【0067】

ここで、集光レンズ10（本発明の非球面単レンズ2）は、高い収差補正能力のあるレンズである。よってこの集光レンズ10で集光した全ての画角の光線は、像面湾曲量が少なく、波面収差の小さい焦点を形成することができる。それにより、その焦点位置に配設された出力光ファイバ13に高い結合効率で結合する。この結果、本実施の形態の光合分波器4では、光量ロスが少なく光信号を伝送することができる。

また、入力する光を逆に出力光ファイバ13から出すことによって、逆方向に光を送ることにより合波することも可能である。

#### 【0068】

なお、光分合波器4では、コリメータレンズ6は必ずしも必要なものではない。また回折格子7の入射面8に回折格子を加工してもよい。また、射出面9に遮光塗料塗布やリンセイ銅板などによる絞りを設けることにより、不必要的高次の回折光を除去することができる。これらの絞りは入射瞳形成部となる。

#### 【0069】

角分散素子としては、入射される光の波長によって射出する光の射出角が異なるものであれば利用することができる。ただし、角分散素子の分散量が小さければ出力ファイバ13までの距離が長くなり、装置の大型化を招く。あるいは、波長毎の分離が困難となる。そのため、角分散素子の分散量がある程度大きいものが好ましい。回折格子7のかわりに用いることができるものとしては、ファブリーペローエタロン、ファブリーペロー干渉計、VIP A板、プリズム等がある。

#### 【0070】

また、光学系の入射瞳形成部として、前述の様に回折格子の加工領域の有無をそのまま絞りとしての入射瞳形成部とすることができる。その格子面上に遮光塗料等で絞り形状に遮光する、リンセイ銅板などの絞りの貼り付け、メカ枠での絞り作製などで瞳の形成を行っても良い。必ずしも角分散素子の面上にある必要はない。例えば光路中に必要次数の回折光を通過させるよう、角分散素子から離して配置してもよい。また、回折格子の加工領域を入射光束の大きさより大きくし、絞りを設けないこともできる。この場合、入射光ファイバやコリメータレンズからの回折格子面上の光束形状がそのまま入射瞳となる。このときは回折格子面が入射瞳形成部となる。角分散素子として前述のものを替わりに用いても、同様に入射瞳形成部としての構成を選択できる。

#### 【0071】

また、図中には導波路として出力光ファイバ13としたが、代わりに半導体等で製造された導波路に置き換えることもできる。

#### 【0072】

図14は本発明の光学システムである分散補償器の概略構成図である。図14では角分散

素子の分散方向を含む面内の断面の様子を示している。5は分散補償器に入力光を導く入力光ファイバである。6はコリメータレンズであり、入力光ファイバからの発散光を平行光にする。15はシリンドリカルレンズである。16は角分散素子として用いられたファブリペロー干渉計であり、入力された光の波長により射出角度を変える作用をもつ。17、18はそれぞれファブリペロー干渉計の入射面、射出面である。この射出面18に加工された有効射出領域内が、そのまま本発明の非球面単レンズ光学系の入射瞳となっている。10は非球面単レンズ2からなる集光レンズである。入射側の第1面11が、非球面形状で入射側に凸面を向いている。また、射出面である第2面12は、平面または凹面で構成されている。19は反射ミラーであり3次元の曲面たとえば回転非対称の自由曲面等で構成されている。このように、分散補償器14は光の光の進む順に、入力光ファイバ、コリメータレンズ6、シリンドリカルレンズ15、角分散素子16、集光レンズ10、反射ミラー19によって構成されている。

#### 【0073】

次に分散補償器14の作用について説明する。光ファイバを伝送された光は、分散補償器の入力部である入力光ファイバの端から射出される。入力光である入力光ファイバの端から射出した光はファイバのNAによって決まる発散角で広がりながら進む。この光はコリメータレンズ6によって略平行光になり、シリンドリカルレンズ15に入射する。このシリンドリカルレンズ15は角分散素子16の分散方向にのみパワーを有している。よって、シリンドリカルレンズを射出した光は1軸方向にのみ集光した略直線状の光となってファブリペロー干渉計16に入射する。このとき略直線状の光は、ファブリペロー干渉計16の入射部に対して角度を持って入射する。なお、本実施の形態では、ファブリペロー干渉計16が角分散素子に用いられている。

#### 【0074】

ファブリペロー干渉計16の媒質は光学ガラスである。そして図14における入射面17の入射部分17aの透過率は100%に近く、またそれ以外の面は略100%の反射率を有する入射側反射面17bとなっている。一方、射出面18は、入射側反射面17bの反射率よりも小さい内部反射率を有している。このような構造であるため、入射した光は内部において多重反射を生じる。その結果、波長毎に干渉した光それについて射出する角度に違いが生じる。また、ファブリペロー干渉計16から射出した光線は略平行光束となっており、通常の平行光として取り扱うことができる。

#### 【0075】

このように角分散素子は1方向に分散を与えられるような構成になっており、射出する光は1軸方向にのみ波長によって射出角の違う光となる。ファブリペロー干渉計16の代わりにファブリペローエタロン、VIPA板を用いることもできる。シリンドリカルレンズによって1軸方向にのみ集光した略直線状の光を入射させることができる。これにより、シリンドリカルレンズにより集光した方向と同方向にのみ波長によって射出角の異なる光を射出させることができる。ここで波長によって射出角の異なる光を射出させる方向（紙面に沿った上下方向）を分散方向とする。

#### 【0076】

角分散素子からの射出光は集光レンズ10によって波長毎に異なる焦点をもつ焦点面に集光する。この集光レンズ10は波長による射出角の変化に対して対応できる収差補正能力を有している。この集光レンズ10は波長による射出角の違いにより、略焦点面に配置された反射ミラー19面上の角分散素子の分散方向での波長毎の反射位置の変化を生じさせる。

#### 【0077】

反射ミラー19は、分散値に対応した光路長差を生じさせるよう3次元の曲面に形成されている。このように本実施の形態の分散補償器は、この光路長差を持たせることで波長による群遅延差（分散）を補償することができる。なお、入力された光信号が波長毎にもつ群遅延差に合わせ、光路差を可変とする必要がある。つまり、波長毎に反射ミラー19面までの距離を適正な光路差が得られる距離にする必要がある。そのためには、反射ミラー

19を移動させることにより、適切な光路差が得られる構成としている。

図14においては、分散方向（紙面上の上下方向）にある反射ミラー19の反射点を反射ミラー19の移動により変化させることになる。例えば、反射ミラー19を紙面に垂直な方向に動かすとき、反射ミラー19の紙面に沿った断面形状が、集光レンズ10側から見ると凸形状から凹形状変化する自由曲面にすれば、反射ミラーを紙面に垂直な方向の適正な位置に移動させることで、正分散または負分散といった分散に対しても光信号の分散を補償することができる。

#### 【0078】

各波長の光は光路差を有したまま波長毎に異なる反射面の位置で反射し、前述の光路を逆方向にすすみ、再度入射光ファイバに入射する。また、途中サーキュレータ等（不図示）を配置し、光信号を分岐することによって、分散が補償された光信号を得ることができる。

#### 【0079】

前述の様に角分散素子と集光レンズと反射ミラーを含む構成することにより、補償する分散量にかかわらず、挿入損失が少ない分散補償器を実現することができる。また、光ファイバ等の光学部品の持つ分散による光信号の劣化を補償する分散補償器を実現することができる。

#### 【0080】

このような本発明の光システムにおいて、角分散素子から射出する光線は、射出角の異なる光線すなわち画角を有する光線となる。この画角のある全ての光線は、反射ミラー一面において反射されるときに波面収差が小さいことが望ましい。集光レンズである本発明の非球面単レンズはその焦点位置で、全ての光線において波面収差量Wが $W \leq 0.1\lambda$ を満たすよう設計されているので、光量ロスが少ない光学システムとすることができる。

#### 【0081】

なお、分散補償器14では、コリメータレンズ6は必ずしも必要なものではない。角分散素子としては、入射される光の波長によって射出する光の射出角が異なるものであれば利用することができる。ただし、角分散素子の分散量が小さいと出力ファイバ13までの距離が長くなり、装置の大型化を招く。あるいは、波長分離が困難となり分散補償することが困難となる。そのため、角分散素子の分散量がある程度大きいものが好ましい。角分散素子としてファブリーペロー干渉計16のかわりに、回折格子、ファブリーペローエタロン、VIPA板、プリズム等に置き換えることもできる。

#### 【0082】

光学系の入射瞳形成部として、前述のように干渉計16射出面18の有効領域をそのまま入射瞳形成部とすることができます。その射出面18上に遮光塗料等で絞り形状に遮光する、リンセイ銅板などの絞りの貼り付け、メカ枠での絞り作製などで行っても良い。入射瞳形成部は必ずしも角分散素子の面上にある必要はない。例えば、光路中に必要次数の回折光を通過させるよう、角分散素子から離して配置してもよい。また、干渉計の加工領域を入射光束の大きさより大きくし、絞りを設けないこともできる。この場合、入射光ファイバやコリメータレンズからの干渉計射出面上の光束形状がそのまま入射瞳となる。このときは干渉計射出面が入射瞳形成部となる。角分散素子として前述のものを替わりに用いても、同様に入射瞳形成部としての構成を選択できる。

#### 【発明の効果】

以上説明したように本発明の非球面単レンズ光学系、及び、その非球面単レンズ光学系を備えた光学システムは、入射した光の全てにおいて残存する波面収差が小さく、かつ像面弯曲が小さく光学系で発生するロスを極小に抑えることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の非球面単レンズ光学系の第1実施例の断面図である。

【図2】本発明の非球面単レンズ光学系の第2実施例の断面図である。

【図3】本発明の非球面単レンズ光学系の第3実施例の断面図である。

【図4】本発明の非球面単レンズ光学系の第4実施例の断面図である。

【図5】本発明の非球面単レンズ光学系の第5実施例の断面図である。

【図6】本発明の非球面単レンズ光学系の第6実施例の断面図である。

【図7】本発明の実施例1の非球面単レンズ光学系の球面収差、非点収差、歪曲収差を示す図である。

【図8】本発明の実施例2の非球面単レンズ光学系の球面収差、非点収差、歪曲収差を示す図である。

【図9】本発明の実施例3の非球面単レンズ光学系の球面収差、非点収差、歪曲収差を示す図である。

【図10】本発明の実施例4の非球面単レンズ光学系の球面収差、非点収差、歪曲収差を示す図である。

【図11】本発明の実施例5の非球面単レンズ光学系の球面収差、非点収差、歪曲収差を示す図である。

【図12】本発明の実施例6の非球面単レンズ光学系の球面収差、非点収差、歪曲収差を示す図である。

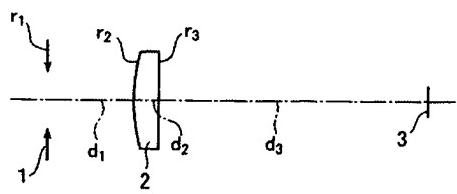
【図13】本発明の光学システムである光分合波器の概略構成図である。

【図14】本発明の光学システムである分散補償器の概略構成図である。

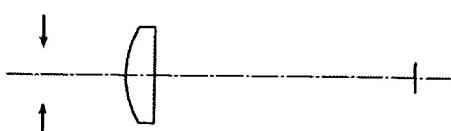
【符号の説明】

- 1 入射瞳位置
- 2 非球面単レンズ
- 3 焦点面
- 4 光分合波器
- 5 入力光ファイバ
- 6 コリメータレンズ
- 7 回折格子（角分散素子）
- 8 回折格子入射面
- 9 回折格子射出面
- 10 集光レンズ（非球面単レンズ）
- 11 集光レンズ入射面
- 12 集光レンズ射出面
- 13 出力光ファイバ
- 14 分散補償器
- 15 シリンドリカルレンズ
- 16 ファブリーペロー干渉計
- 17 干渉計入射面
- 17 a 干渉計入射面（入射部分）
- 17 b 干渉計入射面（100%反射部分）
- 18 干渉計射出面
- 19 反射ミラー

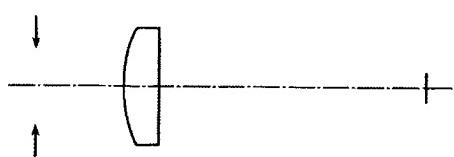
【図1】



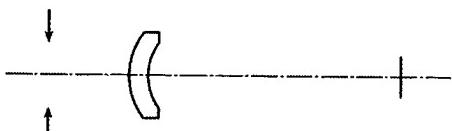
【図4】



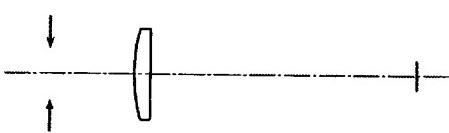
【図2】



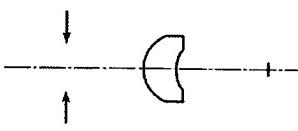
【図5】



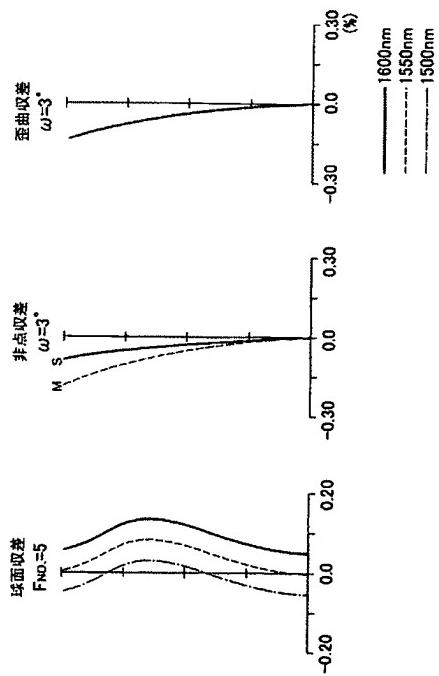
【図3】



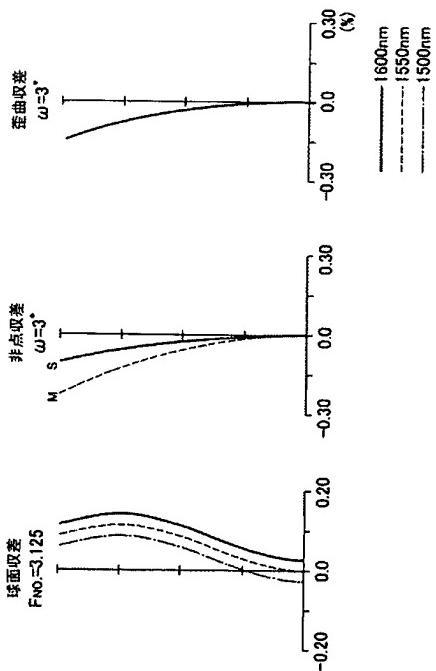
【図6】



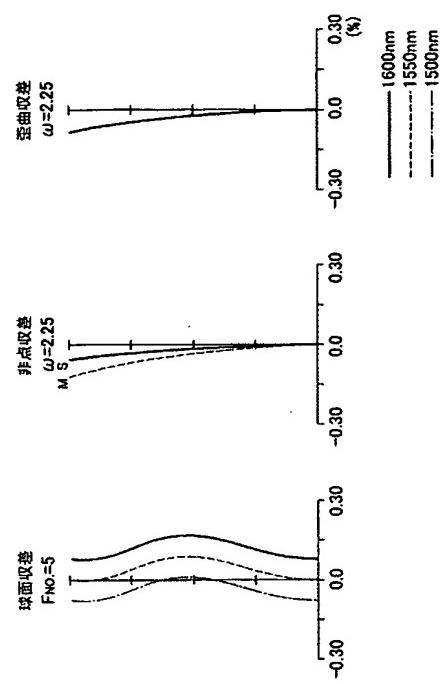
【図7】



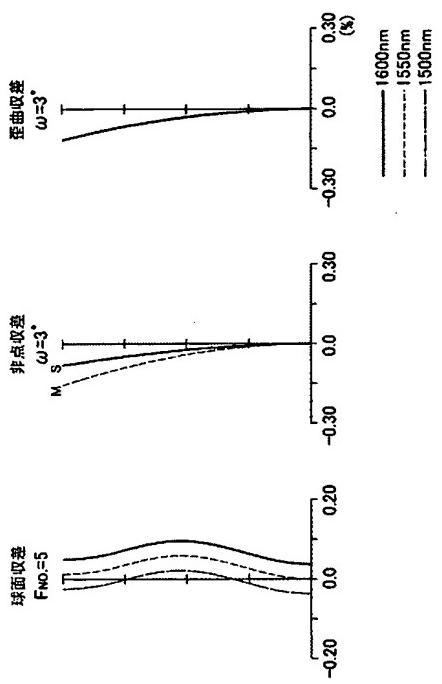
【図8】



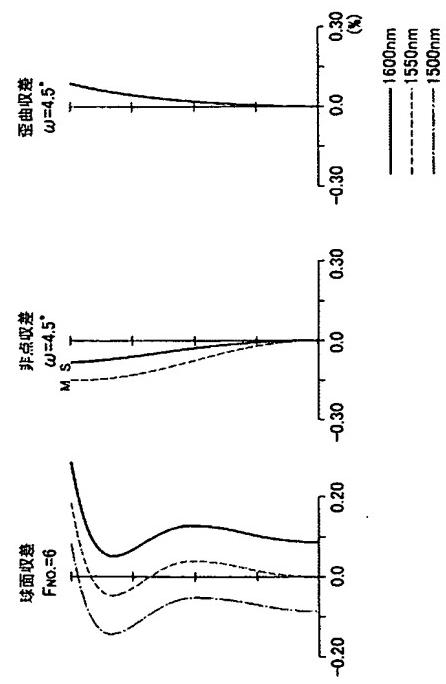
【図9】



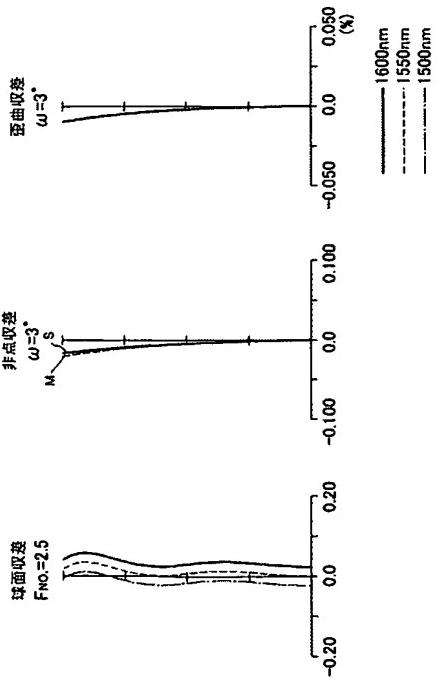
【図10】



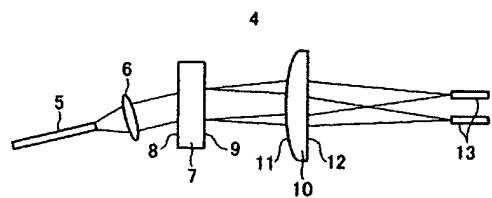
【図11】



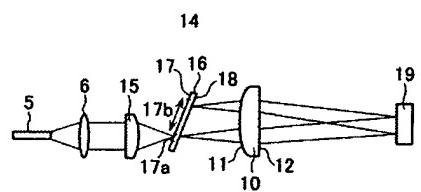
【図12】



【図13】



【図14】





**THIS PAGE BLANK (USPTO)**